不同氧化程度猪油有效能值的测定

李力浪　张　成　管武太*　邓子潇　程　林

（华南农业大学动物科学学院，华农联佑饲用油脂研究中心，广州 510642）

摘　要：本试验旨在通过测定不同氧化程度猪油的消化能（DE）和代谢能（ME）值，为其在饲料中的应用提供基础数据。试验选取平均体重为（36.38±1.03） kg 的杜×长×大三元杂交去势公猪 8 头，按照有重复的 4×4 拉丁方设计，饲喂 4 种饲粮，分别为基础饲粮、在基础饲粮中添加 10%过氧化值（POV）为 0.44 mmol/kg 的新鲜猪油的试验饲粮（FL 组）、在基础饲粮中添加 10% POV 为 29.64 mmol/kg 的氧化猪油的试验饲粮（OL_1 组）以及在基础饲粮中添加 10% POV 为 55.79 mmol/kg 的氧化猪油的试验饲粮（OL_2 组）。试验共分为 4 期，每期 10 d，其中预试期 5 d，正试期 5 d。结果表明：与 FL 组猪油相比，OL_1 和 OL_2 组猪油的 DE 值分别降低了 4.62%（P>0.05）和 9.45%（P<0.01），ME 值分别降低了 3.80%（P>0.05）和 9.63%（P<0.01），能量表观消化率分别降低了 4.06%（P>0.05）和 7.91%（P<0.05），能量表观代谢率分别降低了 3.23%（P>0.05）和 8.12%（P<0.05）。由此得出，猪油氧化后会降低其 DE 和 ME 值，并降低能量的表观消化率和表观代谢率，且氧化程度越高，上述指标降幅越大。

关键词：猪油；氧化猪油；消化能；代谢能

中图分类号：S828　　　　文献标识码：A　　　　文章编号：

油脂在饲料中得到了广泛应用，然而其在储存过程中极易发生氧化，生成多种初级和次级氧化产物。这些氧化产物被动物摄食后，破坏正常生理生化功能、危及健康、影响正常生长，给养殖业带来损失[1]。因此，油脂氧化带来的危害引起了动物营养科技工作者的关注。国内外关于油脂氧化后对动物产生的副作用及对配合饲料有效能值的影响已经有不少报道。研究表明，在猪饲粮中添加氧化油脂，能降低抗氧化酶的活性[2-3]，抑制淋巴细胞的增殖[4]，改变细胞的形态结构[5]及激活脂肪分解代谢通路[6]，导致氧化代谢状态失衡、免疫调节系统受损、小肠和肝脏病变、脂肪和蛋白质沉积减少，从而降低养分的吸收，进而造成生产性能的下降。但也有研究表明，在饲粮中添加氧化油脂对猪的肠道屏障功能、免疫反应特征和生产性能无显著影响，认为其与油脂的氧化程度有关[7-8]。Yuan 等[9]发现，在断奶仔猪饲粮中添加 5%氧化鱼油后饲粮的代谢能（ME）值降低。Rosero 等[10]在断奶仔猪饲粮中添加 6%的氧化豆油后观测

收稿日期：2017-01-19
基金项目：广东省教育部产学研项目（2011B090400318）；油脂研究专项（H10154）
作者简介：李力浪（1991—），男，广东茂名人，硕士研究生，从事饲用油脂评定方面研究。E-mail: 714100315@qq.com
*通信作者：管武太，教授，博士生导师，E-mail: wtguan@scau.edu.cn

到饲粮的能量表观消化率显著降低，且与油脂氧化程度存在一定的线性关系。油脂氧化后其本身的有效能值是如何变化的？Liu 等[11]在断奶仔猪饲粮中分别添加 10%不同来源、不同氧化程度的植物油和动物脂肪，研究发现，不同来源的油脂其消化能（DE）值存在一定的差异，但代谢能（ME）值无显著差异，油脂的氧化程度并不影响其有效能值。猪油在我国来源广，但新鲜猪油在混入饲粮前后均可能因不当的储存方式或过长的储存时间发生氧化，影响饲料配方预期的能量浓度。氧化后猪油的 DE 和 ME 值如何变化仍不清楚，研究资料匮乏。因此，本试验以生长猪为试验动物，在饲粮中添加不同氧化程度的猪油，采用生物学方法测定其氧化前后的有效能值，不仅有助于了解油脂氧化前后带来的有效能值的变化，也可以为猪油的储存及其在饲粮中的添加提供一定的科学依据及实用参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验中所使用的 3 批新鲜猪油由广州贝克联佑饲用油脂有限公司提供，不含抗氧化剂。氧化猪油在本实验室制备。

1.2 试验用氧化猪油的制备

氧化猪油的制作参考 Andrews 等[12]的方法，并做适当改进，具体如下：在新鲜猪油中按比例添加亚铁离子（Fe^{2+}）30 mg/kg、铜离子（Cu^{2+}）15 mg/kg、过氧化氢（H_2O_2）600 mg/kg 和 0.3%的水，充分混合后，不间断地通入空气，于（60±1） ℃条件下搅拌氧化，制取过氧化值（POV）预期值分别为 30 和 60 mmol/kg 的 2 种氧化猪油，以 POV 实测值为制备控制标准，每一次制备完成后将其在-20 ℃储存备用。在制备 POV 预期值分别为 30 和 60 mmol/kg 的 2 种氧化猪油时，所用的新鲜猪油（即原始猪油样品）来自 3 个批次，分 3 次制备，每一次制备的氧化猪油的量相同，并分别采集样本测定其 POV 及相关指标。最后分别将 3 次制备的氧化猪油等量混合均匀后形成消化代谢试验用的油脂样品，-20 ℃储存以制备试验饲粮。

1.3 试验动物及饲粮

试验选取体重、血缘、胎次相近、平均体重为（36.38±1.03）kg 的杜×长×大三元杂交去势公猪 8 头，饲喂 4 种饲粮，分别为基础饲粮、在基础饲粮中添加 10%新鲜猪油的试验饲粮（FL 组）、在基础饲粮中添加 10% POV 预期值为 30 mmol/kg 的氧化猪油的试验饲粮（OL_1 组）以及在基础饲粮中添加 10% POV 预期值为 60 mmol/kg 的氧化猪油的试验饲粮（OL_2 组）。基础饲粮为玉米-豆粕型常规饲粮，参照 NRC（1998）20～50 kg 生长猪营养需要配制，其组成及营养水平见表 1。试验饲粮即在基础饲粮中添加 10%新鲜或氧化猪油混合均匀制成。每一种饲粮均分 3 次制备，分别采样并测定相关指标，最后将 3 次制备的饲粮等量混合均匀后饲喂试验猪进行消化代谢试验。

表 1 基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis) %

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	65.50
豆粕 Soybean meal	25.82
小麦麸 Wheat bran	5.00
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.30
石粉 Limestone	0.98
赖氨酸 Lys	0.10
食盐 NaCl	0.30
预混料 Premix[1)]	1.00
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]	
消化能 DE/（MJ/kg）	13.16
粗蛋白质 CP	17.00
钙 Ca	0.72
总磷 TP	0.59
可利用磷 AP	0.38
赖氨酸 Lys	0.89
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.55

[1)] 预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of the diet：VA 6 500 IU，VD 10 00 IU，VE 30 mg，VK 3 mg，VB_1 1 mg，VB_6 3 mg，VB_{12} 0.02 mg，烟酸 nicotinic acid 15 mg，泛酸 pantothenic acid 10 mg，叶酸 folic acid 0.6 mg，胆碱 choline 250 mg，生物素 biotin 0.05 mg，Fe 100 mg，Cu 10 mg，Zn 100 mg，Mn 30 mg，I 0.15 mg，Se 0.3 mg。

[2)] 营养水平均为计算值。Nutrient levels were calculated values.

1.4 试验设计与饲养管理

试验按照有重复的 4×4 拉丁方设计，采用全消化道收集粪尿技术进行消化代谢试验。试验在华南农业大学动物营养系消化代谢实验室进行，共分为 4 期，每期 10 d，其中预试期 5 d，正试期 5 d。试验猪单独饲养在代谢笼中，适应期 10 d，饲喂基础饲粮，记录自由采食量，按自由采食量的 85%设定每组预试期和正试期的每日饲喂量。每天 08:00 和 16:00 各喂料 1 次，自由饮水，饲粮均为粉料。在进行每 1 期试验时每个组 2 头猪，每头猪的样品独立采集且分别测定其相关指标，其测定值作为独立的数据用于统计分析。

1.5 样品的收集

试验开始前，根据袋装饲料样品采集方法分别采取 4 种不同饲粮样，分装于密封袋中。试验期间，从每期的第 6 天起，采用全收粪法收集粪样，运用四分法将每天收集的粪样取样 25%装在密封袋中；尿样收集时，在收集前往集尿容器中添加 10%的硫酸溶液 50 mL，每天测量其体积，并按比例取 5%的尿液装于塑料封口瓶中。所有的样品置于-20 ℃冰箱中保存待测。

1.6 测定指标与方法

1.6.1 油脂过氧化指标

检测各组猪油在混入饲粮前的 POV、酸价（AV）、硫代巴比妥酸反应物（TBARS）含量、碘价（IV）和皂化价（SV）。当猪油混合到饲粮中后，采用索氏脂肪抽提法[13]提取饲粮粗脂肪，检测粗脂肪的 POV、AV、TBARS 含量、IV 和 SV。POV、AV、IV 和 SV 的检测方法分别参见 GB/T 5538-2005、GB/T 5530-2005、GB/T 5532-2008 和 GB/T 5534-2008，TBARS 含量的检测方法参见黄伟坤[14]。以上指标均为 3 次独立测定。

1.6.2 饲粮及粪、尿样的常规成分分析

饲粮样经粉碎并过 40 目筛后测定其干物质含量和总能（GE）值。粪样在收集后混合均匀，105 ℃灭酶 10~15 min，并于 65 ℃干燥至恒重，室温回潮 24 h，称重，粉碎并过 40 目筛测定其干物质含量和 GE 值。尿样处理参考 Kerr 等[15]的方法，将 2 mL 尿样添加到装有 0.5 g 定量滤纸的坩埚中，于 50 ℃干燥 24 h 再测定其 GE 值。干物质含量的测定方法参照 GB/T 6435-2006；利用 IKA C200（快速动态，23 ℃）测定 GE 值，以苯甲酸作为标准物进行校正。

1.7 计算公式

饲粮的 DE 和 ME 值计算公式如下：

饲粮 DE 值（MJ/kg）=[饲粮 GE 值（MJ/d）-粪 GE 值（MJ/d）]/平均每天摄入饲粮总重（kg/d）；

饲粮 ME 值（MJ/kg）=[饲粮 GE 值（MJ/d）-粪 GE 值（MJ/d）-尿 GE 值（MJ/d）]/平均每天摄入饲粮总重（kg/d）。

式中所有指标都是以干物质为基础表示。

猪油的 DE 和 ME 值及猪油能量表观消化率和表观代谢率计算公式分别如下：

猪油 DE 值（MJ/kg）={试验饲粮 DE 值（MJ/kg）-基础饲粮 DE 值（MJ/kg）×[100-猪油在试验饲粮中所占的比例(%)]}/猪油在试验饲粮中所占的比例(%)；

猪油 ME 值（MJ/kg）={试验饲粮 ME 值（MJ/kg）-基础饲粮 ME 值（MJ/kg）×[100-猪油在试验饲粮中所占的比例(%)]}/猪油在试验饲粮中所占的比例(%)；

猪油能量表观消化率（%）=[猪油 DE 值（MJ/kg）/猪油 GE 值（MJ/kg）]×100；

猪油能量表观代谢率（%）=[猪油 ME 值（MJ/kg）/猪油 GE 值（MJ/kg）]×100。

式中所有指标都是以干物质为基础表示。

1.8 数据统计分析

猪油的氧化特性数据采用 SPSS 17.0 软件进行方差分析。

生长猪消化代谢试验数据采用 SPSS 17.0 软件中的一般线性模型（GLM）模块进行方差分析，模型如下：

$Y_{ijk}=\mu+P_i+B_j+T_k+E_{ijk}$。

式中：Y_{ijk} 为试验猪在不同饲粮下的因变量值；μ 为总体均值；P_i 为试验期效应（i=1，2，3，4）；B_j 为试验猪的随机效应（j=1，2，3，4，5，6，7，8）；T_k 为饲粮处理效应（k=1，2，3，4）；E_{ijk} 为残差。

采用 LSD 法对各指标进行组间的多重比较，设定以 $P<0.05$ 作为差异显著性判断标准，以 $P<0.01$ 作为差异极显著性判断标准，结果以平均值±标准误表示。

2 结果与分析

2.1 试验用猪油的氧化特性

试验用猪油在混入饲粮前后过氧化指标的检测结果见表2。在混入饲粮前，FL组猪油（新鲜猪油）的POV为0.44 mmol/kg，而OL_1和OL_2组猪油（POV预期值分别为30和60 mmol/kg的氧化猪油）的POV分别为29.64和55.79 mmol/kg，均较新鲜鱼油极显著升高（$P<0.01$）；此外，与FL组猪油相比，OL_1、OL_2组猪油的AV和TBARS含量极显著上升（$P<0.01$），且IV极显著下降（$P<0.01$），同时OL_2组猪油的SV显著高于FL组（$P<0.05$）。在混入饲粮后，OL_1和OL_2组饲粮粗脂肪的POV、AV、TBARS含量和SV极显著高于FL组（$P<0.01$），且IV极显著低于FL组（$P<0.01$）。

表 2 试验用猪油的氧化特性

Table 2 The oxidation characteristics of lard used in the experiment (n=3)

项目 Items	组别 Groups FL	OL_1	OL_2
混入饲粮前（猪油） Before being mixed in basal diets (lard)			
过氧化值 POV/（mmol/kg）	0.44 ± 0.01^{C}	29.64 ± 0.23^{B}	55.79 ± 0.59^{A}
酸价 AV/（mg KOH/g）	1.67 ± 0.02^{C}	2.48 ± 0.02^{B}	3.59 ± 0.03^{A}
硫代巴比妥酸反应物含量 TBARS content/（mg MDA/kg）	15.20 ± 0.82^{C}	148.05 ± 6.41^{B}	221.82 ± 11.38^{A}
皂化价 SV/（mg/kg）	190.31 ± 1.67^{b}	193.18 ± 2.24^{ab}	199.22 ± 1.22^{a}
碘价 IV/（g/dg）	70.44 ± 0.21^{A}	65.19 ± 0.03^{B}	59.52 ± 0.27^{C}
混入饲粮后（粗脂肪） After being mixed in diets (EE)			

过氧化值 POV/（mmol/kg）	5.65±0.13^{C}	27.45±0.09^{B}	52.13±0.51^{A}
酸价 AV/（mg KOH/g）	3.83±0.06^{C}	4.79±0.04^{B}	5.51±0.09^{A}
硫代巴比妥酸反应物含量 TBARS content/（mg MDA/kg）	48.95±4.04^{C}	179.08±4.07^{B}	238.60±1.04^{A}
皂化价 SV/（mg/kg）	51.22±0.69^{C}	61.70±0.93^{B}	74.58±0.48^{A}
碘价 IV/（g/dg）	41.40±0.63^{A}	28.29±0.24^{B}	24.66±0.24^{C}

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著(P<0.05)，不同大写字母表示差异极显著(P<0.01)，相同字母或无字母表示差异不显著(P>0.05)。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), and with different capital letter superscripts mean extremely significant difference (P<0.01), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P＞0.05). The same as below.

2.2 试验各组平均表观能值

由表 3 可知，平均每头猪每天摄入的 DE 和 ME（即饲粮 DE 和 ME 值）随着猪油氧化程度的升高而降低，但差异不显著（P>0.05）。FL、OL_1 和 OL_2 组摄入的 DE 在摄入的 GE（即饲粮 GE 值）中的比例分别为 90.04%、89.66%和 89.03%，摄入的 ME 在摄入的 GE 中的比例分别为 87.19%、86.68%和 85.98%，摄入的 ME 在摄入的 DE 中的比例分别为 96.84%、96.67%和 96.58%。

表 3　试验各组平均表观能值

Table 3　The average apparent energy values of each group in the experiment (n=8)　　MJ/（d·头）

项目 Items	组别 Groups			
	基础饲粮 Basal diet	FL	OL_1	OL_2
饲粮 GE Dietary GE	19.99±1.65	24.99±3.06	24.17±2.61	23.33±2.61
粪 GE Fecal GE	2.40±0.14	2.49±0.25	2.51±0.26	2.56±0.26
饲粮 DE Dietary DE	17.58±1.52	22.50±2.83	21.67±2.36	20.77±2.38
尿 GE Urinary GE	0.709±0.116	0.716±0.130	0.711±0.077	0.709±0.094
饲粮 ME Dietary ME	16.88±1.41	21.79±2.70	20.95±2.29	20.06±2.28

2.3 饲粮和猪油的 DE 和 ME 值

由表 4 可知，随着猪油氧化程度的升高，饲粮和猪油的 DE 和 ME 值以及能量表观消化率和表观代谢率都逐渐降低。与 FL 组饲粮相比，OL_1 和 OL_2 组饲粮的 DE 值分别降低 1.13%（P>0.05）和 2.21%（P<0.01），ME 值分别降低 0.85%（P>0.05）和 2.22%（P<0.01）。与 FL 组猪油相比，OL_1 和 OL_2 组猪油的 DE 值分别降低 4.62%（P>0.05）和 9.45%（P<0.01），ME 值分别降低 3.80%（P>0.05）和 9.63%

（P<0.01），能量表观消化率分别降低 4.06%（P>0.05）和 7.91%（P<0.05），能量表观代谢率分别降低 3.23%（P>0.05）和 8.12%（P<0.05）。

表 4　饲粮和猪油的 DE 和 ME 值

Table 4　The DE and ME values of diet and lard (n=8)　　MJ/kg

项目 Items	组别 Groups		
	FL	OL_1	OL_2
饲粮 DE Dietary DE	15.86 ± 0.09^{Aa}	15.68 ± 0.06^{ABab}	15.51 ± 0.08^{Bb}
饲粮 ME Dietary ME	15.34 ± 0.09^{Aa}	15.21 ± 0.05^{ABab}	15.00 ± 0.07^{Bb}
猪油 DE Lard DE	36.83 ± 0.88^{Aa}	35.13 ± 0.56^{ABab}	33.35 ± 0.78^{Bb}
猪油 ME Lard ME	35.83 ± 0.86^{Aa}	34.47 ± 0.52^{ABab}	32.38 ± 0.71^{Bb}
猪油的能量表观消化率 Apparent digestibility of energy for lard/%	93.81 ± 2.24^{a}	90.00 ± 1.43^{ab}	86.39 ± 2.03^{b}
猪油的能量表观代谢率 Apparent metabolic rate of energy for lard/%	91.26 ± 2.20^{a}	88.31 ± 1.32^{ab}	83.85 ± 1.84^{b}

3　讨　论

3.1　试验用猪油的氧化特性

猪油在加热氧化处理过程中会发生非常复杂的变化，产生一系列的氧化初级产物，这些氧化产物不稳定，在加热和储藏过程中易分解[16]，从而形成刺激代谢产物。为了对猪油的氧化产物进行估测，本试验检测了猪油和试验饲粮中粗脂肪的 POV、AV、TBARS 含量、IV 和 SV，研究发现，无论是混入饲粮前，还是混入饲粮后，随着猪油氧化程度的升高，其 POV、AV、TBARS 和 SV 均逐渐上升，IV 均逐渐下降。POV 和 TBARS 含量分别是用于衡量油脂氧化初级和次级过脂质氧化产物的指标，其值越大则氧化程度越高[17]。在混入饲粮前，OL_1、OL_2 组猪油的 POV 分别为新鲜猪油的 67.36 和 127.80 倍；在混入饲粮后，OL_1、OL_2 组试验饲粮中粗脂肪的 POV 分别为 FL 组的 4.86 和 9.23 倍；在混入饲粮前，OL_1、OL_2 组猪油的 TBARS 含量分别为新鲜猪油的 9.74 和 14.59 倍，在混入饲粮后，OL1、OL2 组试验饲粮中粗脂肪的 TBARS 含量分别为 FL 组的 3.66 和 4.87 倍。这表明在猪油氧化过程中形成了大量的极性组分，同时表明在金属离子的催化下，猪油氧化形成了大量的次级脂质过氧化产物[18]。因此，可以确定在本试验所用的氧化猪油中同时含有高浓度的初级和次级脂质过氧化产物。

3.2　氧化对猪油 DE 和 ME 值的影响

饲粮中油脂氧化酸败会导致动物产生氧化应激[19]，机体免疫功能下降[20]，生物膜的完整性遭到破坏[21-22]，影响机体抗氧化系统的作用[23-24]，加速动物心血管等组织损伤进程[25]，引起饲料养分消化吸

收障碍[26-27]。Liu 等[28]研究发现，在小鼠饲粮中添加 15%的氧化大豆油后，脂肪表观消化率下降 4.96%。袁施彬等[2]研究结果显示，与新鲜鱼油组相比，3%氧化鱼油组断奶仔猪饲粮中粗脂肪和干物质的消化率均显著下降，分别下降 35.18%和 13.05%；氮表观消化率和表观利用率均极显著下降，分别下降 21.91%和 30.55%。本研究通过采用全消化道收集粪尿技术，对生长猪进行消化代谢试验，并运用套算法评定了不同氧化程度猪油的 DE 和 ME 值的变化，试验结果显示，随着猪油氧化程度的升高，用其所配制的饲粮的 DE 和 ME 值以及能量表观消化率和表观代谢率均逐渐降低；猪油本身的 DE 和 ME 值以及能量表观消化率和表观代谢率也有不同程度的降低。由此可知，猪油氧化后不仅降低猪油本身的有效能值，也会降低用其配制的全价饲粮的有效能值及能量利用效率。本研究结果提示，在油脂生产、储存、运输及应用过程中应注意控制油脂质量，尽量避免油脂的氧化酸败；饲料生产企业在选购、应用油脂时要检测油脂的氧化程度，甚至可根据油脂 POV 的大小调整饲料配方，以获得预期的能量浓度及良好的饲养效果。

4 结　论

猪油氧化后可降低其 DE 和 ME 值，并降低其能量的表观消化率和表观代谢率，且氧化程度越高，上述指标降幅越大。

参考文献：

[1] 任泽林,霍启光.氧化油脂对动物机体的影响[J].动物营养学报,2000,12(3):1–13.

[2] 袁施彬,陈代文,余冰,等.氧化应激对断奶仔猪生产性能和养分利用率的影响[J].中国饲料,2007(8):19–22.

[3] BOLER D D,FERNÁNDEZ-DUEÑAS D M,KUTZLER L W,et al.Effects of oxidized corn oil and a synthetic antioxidant blend on performance,oxidative status of tissues,and fresh meat quality in finishing barrows[J].Journal of Animal Science,2012,90(13):5159–5169.

[4] DIBNER J J,ATWELL C A,KITCHELL M L,et al.Feeding of oxidized fats to broilers and swine:effects on enterocyte turnover,hepatocyte proliferation and the gut associated lymphoid tissue[J].Animal Feed Science and Technology,1996,62(1):1–13.

[5] 袁施彬,陈代文.氧化应激对断奶仔猪组织抗氧化酶活性和病理学变化的影响[J].中国兽医学报,2009,29(1):74–78.

[6] LIU P,CHEN C,KERR B J,et al.Influence of thermally oxidized vegetable oils and animal fats on growth performance,liver gene expression,and liver and serum cholesterol and triglycerides in young pigs[J].Journal of Animal Science,2014,92(7):2960–2970.

[7] LIU P,KERR B J,WEBER T E,et al.Influence of thermally oxidized vegetable oils and animal fats on intestinal barrier function and immune variables in young pigs[J].Journal of Animal Science,2014,92(7):2971–2979.

[8] DEROUCHEY J M,HANCOCK J D,HINES R H,et al.Effects of rancidity in choice white grease on growth performance and nutrient digestibility in weanling pigs[C]//Kansas State University Swine Day 2000.Report of Progress 858.Kansas:Kansas State University,2000:83–86.

[9] YUAN S B,CHEN D W,ZHANG K Y,et al.Effects of oxidative stress on growth performance,nutrient digestibilities and activities of antioxidative enzymes of weanling pigs[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2007,20(10):1600–1605.

[10] ROSERO D S,ODLE J,MOESER A J,et al.Peroxidised dietary lipids impair intestinal function and morphology of the small intestine villi of nursery pigs in a dose-dependent manner[J].British Journal of Nutrition,2015,114(12):1985–1992.

[11] LIU P,KERR B J,CHEN C,et al.Influence of thermally oxidized vegetable oils and animal fats on energy and nutrient digestibility in young pigs[J].Journal of Animal Science,2014,92(7):2980–2986.

[12] ANDREWS J S,GRIFFITH W H,MEAD J F,et al.Toxicity of air-oxidized soybean oil.[J].The Journal of Nutrition,1960,70:199–210.

[13] 杨胜.饲料分析及饲料质量检测技术[M].北京:北京农业大学出版社,1994.

[14] 黄伟坤.食品检验与分析[M].中国轻工业出版社,1989.

[15] KERR B J,WEBER T E,DOZIER W A,et al.Digestible and metabolizable energy content of crude glycerin originating from different sources in nursery pigs[J].Journal of Animal Science,2009,87(12):4042–4049.

[16] SERRA A,BUCCIONI A,RODRIGUEZ-ESTRADA M T,et al.Fatty acid composition,oxidation status and volatile organic compounds in colonnata lard from Large White or Cinta Senese pigs as affected by curing time[J].Meat Science,2014,97(4):504–512.

[17] JIN G F,ZHANG J H,YU X,et al.Lipolysis and lipid oxidation in bacon during curing and drying-ripening[J].Food Chemistry,2010,123(2):465–471.

[18] 陈芳,陈伟娜,胡小松.基于油脂氧化的食品加工伴生危害物形成研究进展[J].中国食品学报,2015,15(12):9–15.

[19] EDER K,STABNGL G I.Plasma thyroxine and cholesterol concentrations of miniature pigs are influenced by thermally oxidized dietary lipids[J].The Journal of Nutrition,2000,130(1):116–121.

[20] DENG Q L,XU J,YU B,et al.Effect of dietary tea polyphenols on growth performance and cell-mediated immune response of post-weaning piglets under oxidative stress[J].Archives of Animal Nutrition,2010,64(1):12–21.

[21] HAYAM I,COGAN U,MOKADY S.Enhanced peroxidation of proteins of the erythrocyte membrane and of muscle tissue by dietary oxidized oil[J].Bioscience,Biotechnology,and Biochemistry,1997,61(6):1011–1012.

[22] HAYAM I,COGAN U,MOKADY S.Dietary oxidized oil enhances the activity of ($Na^{+}K^{+}$) ATPase and acetylcholinesterase and lowers the fluidity of rat erythrocyte membrane[J].The Journal of Nutritional Biochemistry,1993,4(10):563–568.

[23] IMAGAWA T,KASAI S,MATSUI K,et al.Detrimental effects of methyl hydroperoxy-epoxy-octadecenoate on mitochondrial respiration:detoxication by rat liver mitochondria[J].Journal of Biochemistry,1983,94(1):87–96.

[24] HUANG C J,CHEUNG N S,LU V R.Effects of deteriorated frying oil and dietary protein levels on liver microsomal enzymes in rats[J].Journal of the American Oil Chemists' Society,1988,65(11):1796–1803.

[25] EDER K,KELLER U,HIRCHE F,et al.Thermally oxidized dietary fats increase the susceptibility of rat LDL to lipid peroxidation but not their uptake by macrophages[J].The Journal of Nutrition,2003,133(9):2830–2837.

[26] LYKKESFELDT J,SVENDSEN O.Oxidants and antioxidants in disease:oxidative stress in farm animals[J].The Veterinary Journal,2007,173(3):502–511.

[27] WIJTTEN P J A,VAN DER MEULEN J,VERSTEGEN M W A.Intestinal barrier function and absorption in pigs after weaning:a review[J].British Journal of Nutrition,2012,105(7):967–981.

[28] LIU J F,HUANG C J.Tissue α-tocopherol retention in male rats is compromised by feeding diets containing oxidized frying oil[J].The Journal of Nutrition,1995,125(12):3071–3080.

Determination of Effective Energy Values of Lard in Different Oxidation Degrees

LI Lilang ZHANG Cheng GUAN Wutai* DENG Zixiao CHENG Lin

(*Scau-Unioil Feeding Oil & Fat Research Center, College of Animal Science, South China Agricultural University, Guangzhou* 510642, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to determine the digestible energy （DE） and metabolizable energy (ME) values of lard in different oxidation degrees, in order to provide a basic data for the application of lard in feed. In this experiment, a repeated 4×4 Latin square experimental design was applied using 8 Yorkshire×Landrace×Duroc boars with an average body weight of (36.38±1.03) kg. Four diets were prepared, and they were basal diet group, experimental diet which consisted of basal diet and 10% fresh lard [peroxide value (POV) was 0.44 mmol/kg] (FL group), experimental diet which consisted of basal diet and 10% oxidative lard (POV was 29.64 mmol/kg) (OL_1 group), and experimental diet which consisted of basal diet and 10% oxidative lard (POV was 55.79 mmol/kg) (OL_2 group). The experiment was divided into 4 periods, and each period lasted for 10 days, including 5 days for preliminary trial period and 5 days for trial period. The results showed that compared with the lard of FL group, the DE value of lard of OL_1 and OL_2 groups was decreased by 4.62% ($P>0.05$) and 9.45% ($P<0.01$), respectively, the ME value was declined by 3.80% ($P>0.05$) and 9.63% ($P<0.01$), respectively, the apparent digestibility of energy was reduced by 4.06% ($P>0.05$) and 7.91% ($P<0.05$), respectively, and the apparent metabolic rate of energy was reduced by 3.23% ($P>0.05$) and 8.12% ($P<0.05$), respectively. In conclusion, oxidation reduces DE and ME values and the apparent digestibility and apparent metabolic rate of energy of lard, and the higher the oxidation degree is, the bigger the decreasing range of above indices is.

Key words: lard; oxidative lard; digestible energy; metabolizable energy

*Corresponding author, professor, E-mail: wtguan@scau.edu.cn （责任编辑　营景颖）